



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

TRABAJO DE FIN DE GRADO

Proyecto básico de pasarela de estructura mixta combinada
con pretensado exterior para conectar el barrio de Batoy
con el polígono Santiafo Payá en Alcoy (Alicante).

Presentado por

Bresó Higes, Daniel

Para la obtención del

Grado en Ingeniería de Obras Públicas

Curso: 2020/2021

Fecha: 01/12/2020

Tutor: Gisbert Doménech, Carlos Miguel

Cotutor: Aracil Bueso, Eugenio



Contenido

1	Introducción.....	5
1.1	Descripción.....	5
1.2	Estructura de la Memoria.....	5
2	Datos de partida.....	6
2.1	Entorno de la actuación.....	6
2.2	Topografía.....	7
2.3	Geología y Geotecnia.....	7
2.3.1	Parámetros geotécnicos.....	10
2.4	Dominio Público Hidráulico.....	11
2.5	Condicionantes de uso.....	12
2.5.1	Funcionales.....	12
3	Estudio de Soluciones.....	13
3.1	Alternativa 1.....	13
3.2	Alternativa 2.....	14
3.3	Alternativa 3.....	15
4	Solución adoptada.....	16
4.1	Criterios.....	16
4.1.1	Económico.....	16
4.1.2	Constructivos.....	16
4.1.3	Estético.....	16
4.1.4	Ambiental.....	17
4.1.5	Funcionalidad.....	17
4.2	Sistema de Valoración.....	18
4.2.1	Ponderación.....	18
4.2.2	Puntuación.....	18
4.2.3	Solución adoptada.....	20
5	Bases de Cálculo.....	21
5.1	Cálculo de la estructura.....	21
5.2	Acciones.....	21
5.2.1	Acciones permanentes.....	22
5.2.2	Sobrecargas de uso.....	22
5.2.3	Acciones de Viento.....	22
5.3	Estados Límites Últimos.....	22

5.4	Estados Limites de Servicio	23
6	Dimensionamiento	24
6.1	Primera Iteración	25
6.2	Segunda Iteración SAP2000	26
6.3	Tercera Iteración en SAP2000	28
7	Aplicación de los tendones pretensados	31
7.1	Objetivo	31
7.2	Disposición.....	31
7.3	Dimensionamiento.....	32
7.4	Dimensionamiento final con pretensado	33
8	Conclusión	34

Figuras y Tablas

FIGURA 2-1 UBICACIÓN DEL PROYECTO (SIGPAC).....	6
FIGURA 3-1: ALTERNATIVA 1, LUCES MÁXIMAS	14
FIGURA 3-2: ALTERNATIVA 2, LUCES MÍNIMAS.....	15
FIGURA 3-3: ALTERNATIVA 3, LUCES MEDIAS.....	15
FIGURA 6-1 DIAGRAMA MOMENTOS Y CORTANTES	24
FIGURA 6-2 1ª ITERACIÓN SAP2000	26
FIGURA 6-3 BOCETO DE CÁLCULO	27
FIGURA 6-4 MODELO IMPLEMENTADO 2ª ITERACIÓN.....	27
FIGURA 6-5 2ª ITERACIÓN SAP2000	28
FIGURA 6-6 LEY DE MOMENTOS FLECTORES UPN.....	29
FIGURA 6-7 ESQUEMA DISPOSICIÓN 3ª ITERACIÓN.....	29
FIGURA 6-8 3ª ITERACIÓN SAP2000	30
FIGURA 6-9 3ª ITERACIÓN EN ELS.....	30
FIGURA 7-1 DISPOSICIÓN ARMADURA ACTIVA	31
FIGURA 7-2 DIAGRAMA MOMENTOS FLECTORES SU + ALAMBRE PRETENSADO	32
FIGURA 7-3 COMPROBACIÓN SAP2000 PRETENSADO	33
FIGURA 7-5 ESQUEMA 4ª ITERACIÓN	33
FIGURA 7-4 COMPROBACIÓN 4ª MODELO SAP2000	33
FIGURA 8-1 CONTRA FLECHA DEBIDA A LA ACCIÓN DEL PRETENSADO	34
FIGURA 8-2 COMPROBACIÓN SAP2000 SIN SU NI PRETENSADO.....	35
TABLA 1: UBICACIÓN UTM DE LOS SONDEOS (ANEJO II: ESTUDIO GEOTÉCNICO, CYTEM)	8
TABLA 1: UBICACIÓN UTM DE LOS SONDEOS (ANEJO II: ESTUDIO GEOTÉCNICO, CYTEM)	8
TABLA 2: NIVELES GEOTÉCNICOS SEGÚN SONDEOS (ANEXO II: ESTUDIO GEOTÉCNICO, CYTEM)	9
TABLA 3 ANCHURAS Y ALTURAS LIBRES (KURT SCHWANER: PUENTES DE MADERA, 2004).....	13
TABLA 4 POBLACIÓN POR BARRIOS (ALCOIDEMÀ: PLAN ESTRATÉGICO 2017-2025)	13
TABLA 5 COEFICIENTES DE COMBINACIÓN.....	23
TABLA 6 ESFUERZOS DE CÁLCULO (TRACCIÓN)	25
TABLA 7 MATERIALES EMPLEADOS	25
FOTOGRAFÍA 2-1: FOTOS SOBRE EL TERRENO DE LOS TALUDES NATURALES	8

Agradecimientos:

Quiero agradecer a todos los profesores que han ido formándome a lo largo de mi formación tanto como ingeniero como persona. También a mi familia, que me ha dedicado todo su tiempo, esfuerzo y recursos con tal de educarme y formarme lo mejor posible para afrontar la vida.

1 Introducción.

1.1 Descripción

En este proyecto se estudia la solución de una pasarela de tipología mixta con pretensado exterior. Como principal objetivo se abordará el diseño de una pasarela peatonal y además se valorará la eficiencia que el pretensado pueda otorgar a la solución, así como su desempeño y utilidad.

El proyecto nace por la necesidad de conectar el barrio de “Batoy” con el Polígono “Santiago Payá” en la ciudad de Alcoy, debido a la nueva construcción de instalaciones lúdico-deportivas en las inmediaciones del polígono. Es necesario garantizar un paso directo y seguro hacía las futuras instalaciones sobre el barranco del Río Riquer que conectará la red peatonal del interior del citado polígono, con la calle Montcabrer del barrio de “Batoy”, formando parte de la ronda perimetral sur prevista en el Plan de Movilidad Urbana Sostenible y en el plan General Estructural de Alcoy.

La pasarela consistirá en una estructura biapoyada de varios vanos con tablero a base de celosías metálicas o mixtas. Se estudia la posibilidad de disponer un sistema de pretensado exterior, así como las ventajas e inconvenientes asociados al empleo de esta técnica

1.2 Estructura de la Memoria

La memoria tiene una estructura de nueve puntos principales en los que primero se presenta el objetivo del proyecto, así como los datos de partida y todos los condicionantes que pudieran afectar.

Se planteará un estudio de alternativas sobre las cuales realizaremos una valoración multicriterio de suma ponderada para la elección de la alternativa más conveniente. Una vez seleccionada la alternativa y tras detallarse su desarrollo procedemos a establecer las bases de cálculo y el dimensionamiento de la armadura activa.

Finalmente realizaremos la valoración económica, así como una conclusión en la que se hace una valoración del uso del pretensado en esta estructura.

- | | |
|-----------------------------|--------------------------|
| 1. Introducción. | 5. Bases de Calculo. |
| 2. Datos de Partida. | 6. Dimensionamiento. |
| 3. Estudio de alternativas. | 7. Aplicación Pretensado |
| 4. Solución adoptada. | 8. Conclusión. |

2 Datos de partida.

2.1 Entorno de la actuación.

La pasarela se proyecta entre el barrio de “Batoy” y el Polígono “Santiago Payá” en la localidad de Alcoy sobre el río Riquer. Conectará la “calle Montcabrer” con la calle “*Filà dels Benimerins*”, ambas marcadas con flechas amarillas.

Esta conexión se situará en la intersección de la calle Montcabrer con la calle Carrasqueta, indicado en la en la figura 2.1.1 con la cruceta. Desde este punto hacia el este se desarrollará la nueva vía a través de abanalamientos y terrazas en el margen del río izquierdo.



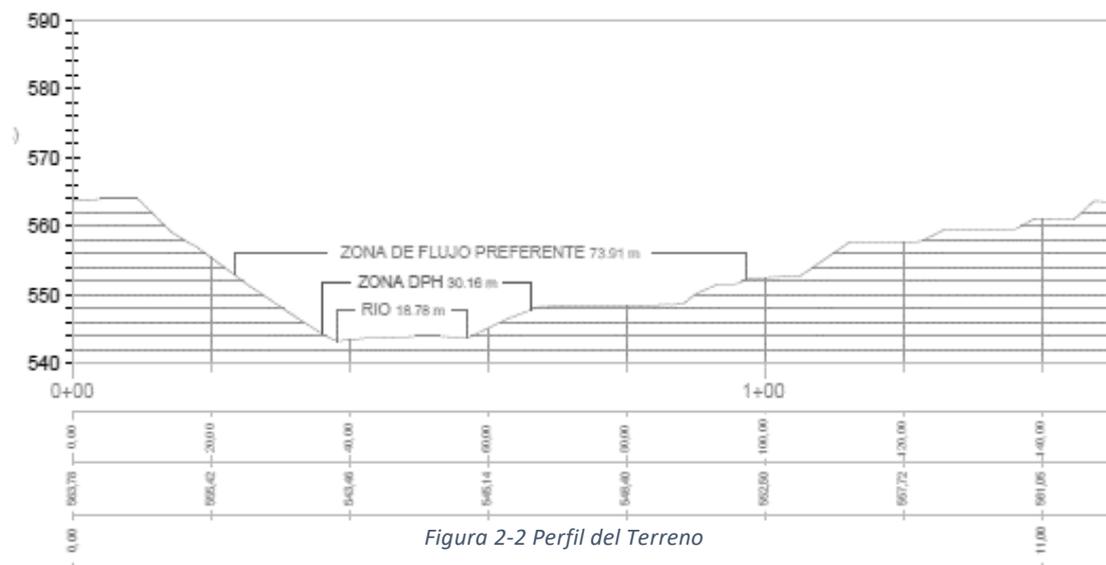
Figura 2-1 Ubicación del proyecto (SIGPAC)

El extremo oriental del vial dispone de una orografía más complicada con pendientes más pronunciadas debido a la proximidad al río Riquer.

2.2 Topografía.

El primer tramo del vial de la actuación, el cual es nuestro objeto de estudio, salvará el río con un desnivel de 20 metros desde el fondo del cauce del río (El cual se encuentra a 544 msnm) hasta las cotas en las que se encontrarán los estribos del puente, 584 msnm extremo oeste y 564 msnm el extremo este.

La obra se sitúa entre las coordenadas UTM-ETRS 89 (X: 718159.62; Y: 4284993.22) y la posición (X: 718474.36; Y: 4284905.25) sienta oeste y este respectivamente.



2.3 Geología y Geotecnia.

El área de estudio se ubica dentro de la franja climática mediterránea, la cual se caracteriza por un régimen pluviométrico en el que se desarrollan periódicamente aguaceros de gran intensidad que pueden ocasionar escorrentías y la activación de barrancos y rieras inactivos.

La zona de estudio se encuentra en la zona de transición al Prebético. Los materiales que afloran en el área son calcirruditas biocásticas del Neogeno cubiertas en su mayor parte por depósitos de ladera y conos de deyección que revisten las laderas del barranco, lo cual genera fuertes pendientes a la cual hay que sumar la acción erosiva del río Riquer.

Se han realizado 3 sondeos lo más próximos a la ubicación futura de los estribos para el estudio geotécnico, el sondeo 2-BIS se tuvo que interrumpir por causas ajenas, además se realizaron 2 penetraciones dinámicas superpesadas (DPSH). En el siguiente plano obtenido del "Anexo II: Estudio geotécnico" se observa la posición de los sondeos y las pruebas DPSH realizadas en zona de estudio.

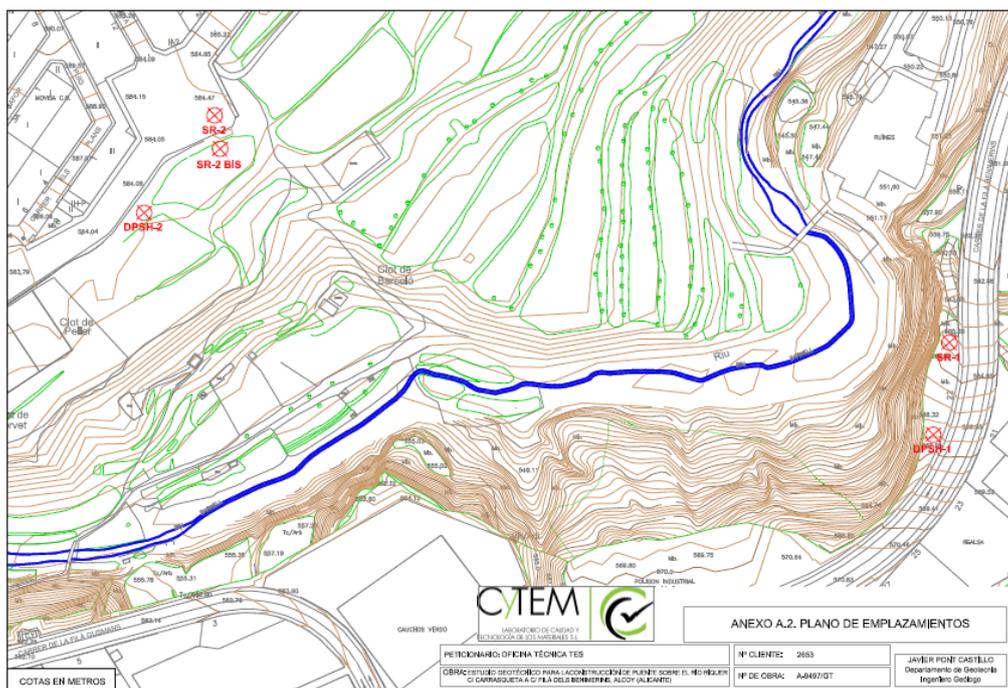


Figura 2-3 Plano ubicación de los sondeos (Anexo II: Estudio geotécnico, CYTEM)

Tabla 1: Ubicación UTM de los sondeos (Anejo II: Estudio geotécnico, CYTEM)

COORDENADAS UTM			
Sondeo/DPSH	X	Y	Z
SRV-1	718457	4284863	567
SRV-2	718181	4284992	583
SRV-2 Bis	718188	4284965	584
DPSH-1	718466	4284899	566
DPSH-2	718181	4284932	580

En los Taludes naturales se muestra la estructura, se caracteriza por materiales margosos en el fondo del río y en algunos puntos localizados del margen hasta la cota de coronación en el polígono. Sobre estas margas aparecen suelos detríticos compuestos de limos y arcillas con gravas.



Fotografía 2-1: Fotos sobre el terreno de los taludes naturales

En los sondeos la profundidad alcanzada es de 20 y 30 metros para los sondeos 1 y 2 respectivamente. En las pruebas de penetración se alcanzan unos valores de rechazo de 14,37 y 15,95 metros.

En el primer ensayo (SR-1) se obtiene 18,50 metros de Margas junto con 1,50 metros de rellenos. El ensayo (SR-2) presenta 22,00 metros de Limos y Arcillas y 8,00 metros de rellenos.

Tabla 3: Niveles geotécnicos según Sondeos (Anexo II: Estudio geotécnico, CYTEM)

Sondeo	Nivel	Profundidad (m)	Espesor (m)	
SR-1	0	Rellenos	0.00 – 1.50	1.50
	I	Limos y arcillas	--	--
	II	Margas	1.50 – 20.00	18.5
SR-2	0	Rellenos	0.00 – 0.10	0.10
	I	Limos y arcillas	0.10 – 7.10	7.00
	II	Margas	--	--
SR-2 Bis	0	Rellenos	0.00 – 8.00	8.00
	I	Limos y arcillas	8.00 – 30.00	22.00
	II	Margas	--	--
DPSH-1	0	Rellenos	0.00 – 1.20	1.20
	I	Limos y arcillas	1.20 – 5.20	4.00
	II	Margas	5.20 – 14.37	9.17
DPSH-2	0	Rellenos	0.00 – 1.40	1.40
	I	Limos y arcillas	1.40 – 15.95	14.55
	II	Margas	--	--

Durante la ejecución de dichos sondeos se han realizado 13 ensayos de penetración estándar. La naturaleza del suelo permitió la extracción de 6 tomas de muestra inalteradas. Los resultados de los ensayos de penetración nos muestran un perfil escalonado que se puede correlacionar con los niveles geotécnicos de los materiales atravesados en los sondeos.

Encontramos la presencia de un acuífero colgado en el Sondeo 1, a una profundidad de 10,48 metros desde la cota del sondeo. Los ensayos sobre el agua la clasifican como un agua no agresiva frente al hormigón como se determina en el ensayo geotécnico 20506/2018 de la empresa CyTEM S.L. Alicante, número obra: A-9497/GT.

La cimentación de ambos estribos se podrá realizar mediante zapatas aisladas, con apoyos en Limos y arcillas en caso del estribo oeste y apoyos en las Margas en el caso del estribo Este. En ambos casos se deberá excavar el Relleno y Suelo Vegetal. La pila deberá ser pilotada.

En el caso de este estribo Este hay que tener en cuenta el alto potencial de hinchamiento de las margas, por lo tanto, es necesario disponer de una capa de gravas bajo el estribo para que actúe como drenante y absorba el cambio de volumen. Además, como método adicional optamos por una solución isostática, ya que esta es insensible a los posibles movimientos que se puedan ocasionar en los apoyos.

La excavación se podrá realizar por medios mecánicos habituales, además poseen cohesión suficiente para permitir taludes verticales durante cortos periodos de tiempo, aun así, debemos evitar las vibraciones inducidas por maquinaria e inundaciones del vaciado.

Las concentraciones de sulfatos solubles en los suelos que están en contacto con las cimentaciones son inferiores a 2000 mg/kg, por lo que no es necesario el uso de cemento sulfioresistentes.

Así mismo, los análisis realizados en agua freática han resultado no agresivos para el hormigón, pero es recomendable usar un hormigón con una buena relación agua/cemento bien curado, también es aconsejable aumentar el espesor de recubrimiento.

2.3.1 *Parámetros geotécnicos.*

Tras todos estos estudios geotécnicos podemos determinar la existencia de tres niveles, para cada nivel definimos los parámetros geotécnicos necesarios para nuestro proyecto:

2.3.1.1 *Nivel 0*

Rellenos y suelo vegetal, constituido por rellenos antrópicos y suelo vegetal, conformado por suelos detríticos limosos con presencia de raíces y materiales de relleno procedentes de excavaciones cercanas. Este nivel no será apto para la transmisión de cargas por el apoyo de cimentación al ser un suelo deficiente en y en todos los casos deberá ser removido.

2.3.1.2 *Nivel I*

Nivel I: Limos y arcillas. Se trata de depósitos de suelos detríticos continentales en los que predominan las fracciones finas, limosas y arcillosas. Podemos obtener estos parámetros según el estudio del "Anexo II: Estudio geotécnico:

- Valor N_{30} SPT: 25
- Ángulo resistencia interna: 31.5
 - Cohesión kPa: 20
- Resistencia compresión simple: 52 (kPa)

2.3.1.3 *Nivel II*

Nivel II: Margas, estas margas presentan una plasticidad elevada, aun así, su saturación es elevada, por lo tanto, las variaciones de volumen se esperan restringidas, aun así, y como se ha comentado previamente, se deberá disponer de un lecho de gravas sobre el estribo para que actúe como drenante y absorba posibles cambios de volumen.

- Valor N_{30} SPT: 35
- Ángulo resistencia interna: 35.7
 - Cohesión kPa: 59.4
- Resistencia compresión simple: 315 (kPa)

2.4 Dominio Público Hidráulico.

Nuestra actuación puede afectar el dominio público hidráulico, por lo que será recomendable buscar la solución con menor afección medioambiental y paisajística con el fin de buscar la compatibilidad del proyecto con sus posibles impactos.

Como se aprecia en la Figura 2-5 tenemos tres zonas delimitadas, la primera es propiamente el río, en la cual descartamos cualquier intervención, puesto que las condiciones dan lugar a opciones menos invasivas.

La segunda corresponde al Dominio Público Hidráulico (DPH), la cual comprende tanto el agua como la superficie por la que discurre o la contiene con el fin de proteger los recursos hídricos y su ecosistema. La zona de servidumbre ocupa los 5 metros contiguos

Por último, tenemos la zona de flujo preferente es la zona constituida por la zona o unión de zonas en las que se concentra el flujo durante las avenidas o vía de intenso desagüe, y de la zona donde, para la avenida de 100 años de periodo de retorno, se puedan producir graves daños sobre las personas y los bienes, quedando delimitado su límite exterior mediante la envolvente de ambas zonas.

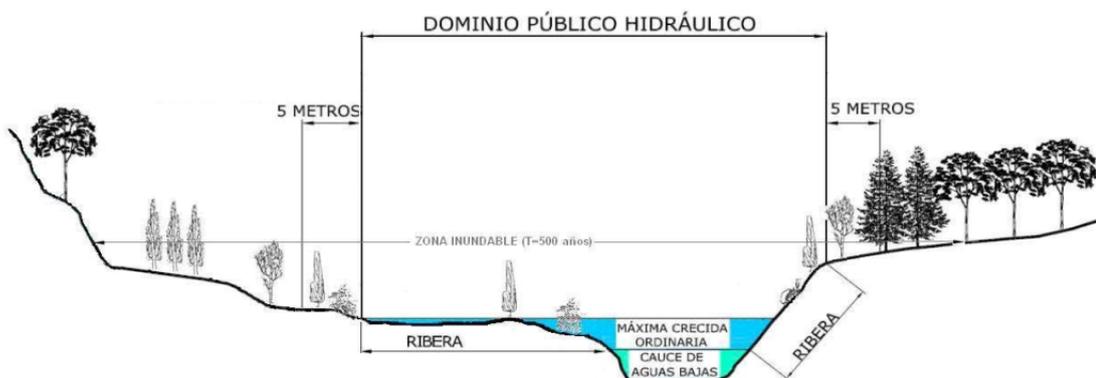


Figura 2-4: DPH (Ministerio para la Transición Ecológica)

Por lo tanto, debemos tener en cuenta las afecciones que podemos ocasionar tanto en el impacto medioambiental, así como en la variación del caudal en la zona de flujo preferente debido a la colocación de pilas que entorpecen u obstaculizan su paso.

2.5 Condicionantes de uso

El puente será un puente peatonal, con posibles pasos puntuales de vehículos de emergencia, por lo que debemos garantizar un ancho mínimo para el paso de estos vehículos. Se dispondrá también de carril bici que conectará con la red ciclista del municipio.

La infraestructura debe garantizar el paso de canalizaciones de diferentes servicios urbanos, abastecimiento de agua, red, gas, saneamiento, red eléctrica, red de alumbrado y por lo tanto, esta es nuestra disposición de conducciones:

- Tubería de abastecimiento de agua 300 mm de diámetro.
- Conducto de gas de 200 mm de diámetro.
- 3 conducciones de 200 mm de diámetro de energía eléctrica.
- Conducto de saneamiento de 400 mm de diámetro.

2.5.1 Funcionales

Para conocer el ancho de la pasarela debemos definir previamente sus características esenciales. Para ello debemos conocer el tránsito que debe soportar. En nuestro caso serán peatones y ciclistas con el paso ocasional de algún vehículo por labores de mantenimiento o emergencia.

La pasarela deberá adaptarse a los criterios de accesibilidad teniendo que cumplir las especificaciones del Real Decreto 173/2010, de 19 de febrero por el que se modifica el Código Técnico de la Edificación, así como la interpretación y aplicación del Documento Básico DB SUA (Seguridad de Utilización y Accesibilidad) del Código técnico de la edificación en cuando a pendientes, tramos, pasamanos y protecciones.

Las barandillas para uso peatonal deberán tener una altura mínima de 1,15 metros, y las ciclistas deberán aumentar hasta 1,25 metros. Debido a que en nuestro puente discurrirá un carril bici deberemos disponer en un lateral de barandillas de 1,25 metros. Con el fin de mantener la simetría y la estética del puente ambos laterales contarán con la misma barandilla de 1,25 metros.

Para el pavimento de la pasarela aplicaremos una rugosidad tal que el coeficiente de rozamiento longitudinal tenga como mínimo un valor $f = 0,32$. Puesto que es de obligado cumplimiento al existir tráfico de ciclistas o vehículos de mantenimiento.

El puente no ha de suponer un estrangulamiento para las vías adyacentes, es por ello por lo que debemos adaptar nuestro ancho de la pasarela, para ello debemos evaluar la densidad de viandantes de la zona. Dispondremos de una categoría estrecha con un tráfico medio, puesto que la zona que conecta dispone de algo menos de 2.000 habitantes, aunque la

pasarela será de uso común para toda la población (58.977), así pues, el ancho mínimo de nuestra pasarela será de 3,50 metros.

Tabla 5 Población por Barrios (Alcoidevà: Plan estratégico 2017-2025)



Tabla 4 Anchuras y alturas libres (Kurt Schwaner: Puentes de Madera, 2004)

Categoría	Empleo	Anchura libre Mínima (m)	Mínima Altura libre sobre la pasarela (m)	Acceso vehículo de emergencia (m)
Ancha	Peatones y ciclistas (alta densidad de tráfico)	4,50	3,00	Si
Normal	Peatones y ciclistas (densidad intermedia de tráfico)	3,50	3,00	Si
Estrecha	Peatones y ciclistas (baja densidad de tráfico)	2,50	2,20	No

3 Estudio de Soluciones

El objeto de este estudio es el planteamiento de una serie de soluciones para dar respuesta a la problemática que presenta la construcción de una pasarela peatonal que salva el barranco ocasionado por el río Riquer.

Para ello dispondremos de tres posibles soluciones con diferentes disposiciones de las pilas, buscando, la luz más corta, la luz máxima y una luz intermedia, valorando cada una de las alternativas y mediante una suma ponderada multicriterio elegir la opción idónea.

3.1 Alternativa 1

La alternativa 1, o luces máximas, tiene como máxima premisa buscar la menor afección sobre el Dominio Público Hidráulico, disponiendo las pilas al límite de este. Esta disposición nos da dos vanos, el oriental de 81,83 metros y el occidental de 47,88 metros. El acceso occidental estará conformado por una rampa en zigzag con una pendiente del 6% para garantizar la accesibilidad y unas escaleras directas integradas con la rampa.

Esta Solución no requiere un estudio hidráulico en la zona de flujo preferente, como contrapartida el aumento de la luz conlleva un aumento del canto al aumentar el momento en la sección central.

Por otra parte, tenemos el factor estético, le existencia de dos vanos continuos con luces tan dispares entre ellas puede no integrarse bien con el entorno que le rodea.

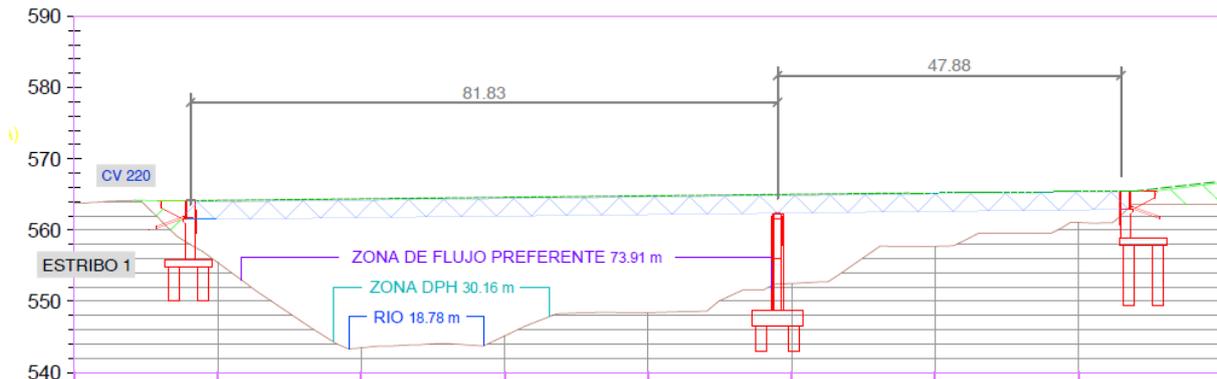


Figura 3-1: Alternativa 1, Luces Máximas

3.2 Alternativa 2

La alternativa 2 o luces mínimas prioriza la economía en el cálculo estructural, de esta forma reducimos el momento ejercido en el centro del vano colocando las pilas en las zonas más cercanas posibles, aunque para ello disponga la invasión de la zona de Dominio Público Hidráulico. Esta solución dispone de un mayor número de pilas, dos de ellas en la zona de flujo preferente.

Esta Solución requiere un estudio hidráulico en la zona de flujo preferente y garantizar que la inclusión de las pilas no afecte al caudal de las avenidas. En el factor estético la inclusión excesiva de pilas puede crear un impacto visual elevado, además de la falta de simetría en su disposición.

El acceso al estribo oriental será igual que en la alternativa uno, una rampa del 6% en zigzag para garantizar la accesibilidad y una escalera de acceso directo integrado con la rampa. Nos encontramos dos luces de 47,17 metros, otra luz de 23,62 metros en el estribo occidental y la menor luz en el estribo oriental con 10,70 metros.

El ahorro económico que puede suponer reducir la luz de los vanos y realizar una sección más ajustada a esta reducida ley de momentos puede verse eclipsado por el aumento del costo en las dos nuevas pilas adicionales que serían necesarias para la realización de esta alternativa.

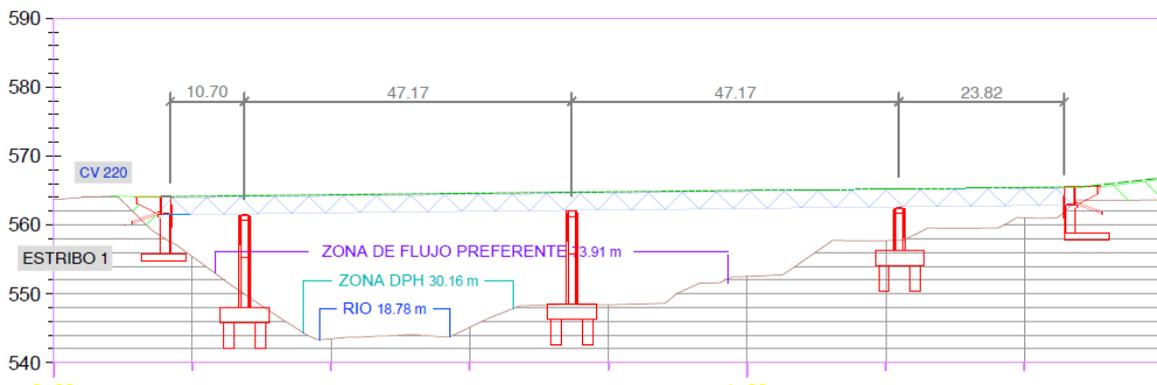


Figura 3-2: Alternativa 2, Luces Mínimas

3.3 Alternativa 3

La alternativa 3 o luces medias busca un punto intermedio entre las anteriores soluciones, por ello buscamos que la afección a la Zona de Flujo preferente sea lo menor posible sin que suponga un sobrecoste elevado debido al aumento de la luz en la pasarela.

Esta Solución requiere un estudio hidráulico en la zona de flujo preferente y garantizar que la inclusión de las pilas no afecte al caudal de las avenidas, es por ello por lo que se dispone de un apoyo elevado en una meseta oriental de la ribera.

El acceso al estribo occidental será igual que en la alternativa uno, una rampa del 6% en zigzag para garantizar la accesibilidad y una escalera de acceso directo integrado con la rampa. Nos encontramos dos luces simétricas de 65 metros, lo cual facilita el diseño, colocación en obra y mejora su calidad estética.

El ahorro económico en esta solución viene dado por buscar la simetría en el diseño y reducir el número de pilas necesarias, aunque suponga un posterior calculo hidráulico que la colocación de esta pila no afecta al caudal en caso de avenidas.

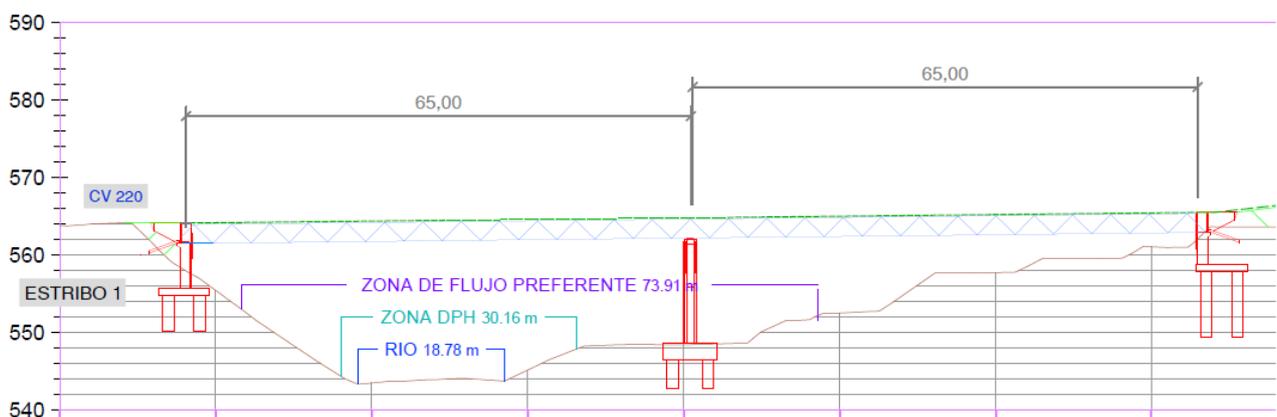


Figura 3-3: Alternativa 3, Luces Medias

4 Solución adoptada.

Con base al planteamiento y descripción de cada alternativa, y con objeto de escoger la más apta, se procede a continuación al análisis comparativo de las mismas, atendiendo a los criterios que mencionaremos en el siguiente apartado y con un peso ponderado a cada uno de ellos.

4.1 Criterios

En ese apartado se enumeran y explican los criterios que se han seguido para valorar y justificar la elección de una de las alternativas propuestas. La valoración de cada alternativa se realizará en los siguientes apartados, así como su elección final.

4.1.1 Económico

El criterio económico tiene como premisa escoger la opción de menos coste según las estimaciones de cantidad de material, mano de obra y maquinaria o equipo auxiliar necesario para la construcción de este.

Buscamos por tanto la mayor eficiencia presupuestaria. Para este criterio la opción más económica puntuará con la nota más elevada, y el resto obtendrán una valoración porcentual en función inversa del sobrecoste respecto a la primera.

4.1.2 Constructivos

Gran parte de los elementos utilizados en construcción de pasarelas metálicas son, o pueden ser, prefabricados. El empleo de este tipo de elementos implica una disminución de los costes de conservación con una adecuada elección del tipo estructural, materiales, diseño, protección y plan de mantenimiento.

En este criterio valoraremos la facilidad constructiva, el grado de prefabricación, así como la rapidez de ejecución.

4.1.3 Estético

La parte estética también formaría parte del criterio ambiental al ser la estética parte de los estudios de impacto Ambiental, aun así, se ha decidido separarlo para darle una mayor relevancia en este caso al diseño y a la inclusión de la obra en el paisaje.

El impacto causado en el medio natural por el que transcurre el vial no tiene que ver únicamente con la posible eliminación de masa forestal o los movimientos de tierras generados con los trabajos. Necesariamente, el transcurso de una nueva infraestructura lineal a lo largo de un paisaje natural crea por si solo un elemento que puede resultar negativo para la estética del entorno.

Para tratar de paliar este resultado negativo en la estética del entorno, surge el concepto de "Integración paisajística ", que podemos definir como los trabajos dedicados a que la relación entre las vías y el paisaje resulte lo más armoniosa posible, maximizando la capacidad de interacción de las carreteras con el paisaje.

4.1.4 Ambiental

El impacto ambiental (también conocido como impacto antrópico o antropogénico sobre el medio ambiente) es el efecto que produce la actividad humana sobre el medio ambiente.

El viaducto se encuentra sobre el río Riquer, es por ello que el impacto que puede ocasionar el viaducto ha de ser estudiado y valorado, bien por sus afecciones al propio río, como al ecosistema circundante.

Para esta valoración se han tenido en cuenta las afecciones de las posibles pilas al lecho del río, como la posible invasión del Dominio Público Hidráulico y las consecuencias respecto al caudal. También hemos de considerar la invasión de la maquinaria y elementos auxiliares al ecosistema de este y su afección sobre la fauna y flora existentes en la zona.

4.1.5 Funcionalidad

En este apartado definiremos la funcionalidad como la combinación concomitante de la seguridad, accesibilidad, confort y mantenimiento.

Por lo tanto, el viaducto ha de garantizar la seguridad, accesibilidad y confort para todos los usuarios de la vía, de forma competente, así pues, debe contar con una estructura que cumpla dichos criterios. Se puntuará también la facilidad de mantenimiento y que las futuras intervenciones sean lo más accesible y sencillas posible. Por lo tanto, para la valoración de este criterio se han tenido en cuenta las condiciones previamente citadas.

4.2 Sistema de Valoración

El sistema de valoración se realiza mediante suma ponderada de cada criterio para cada una de las alternativas, la opción escogida será la que presente una mayor puntuación final.

En caso de empate se decidirá valorando cuál de las alternativas tiene una mayor puntuación en los criterios con mayor valoración, siendo la alternativa que tenga mejores calificaciones en los criterios con más peso en la ponderación la elegida.

4.2.1 Ponderación

El peso de cada criterio va asociado a la importancia que se le asigna en la valoración conjunta del proyecto, que dependerá en cada caso de las condiciones y objetivos de cada empresa y proyecto.

En nuestro caso los factores más determinantes son los relacionados con el factor económico y constructivo, el resto, aún sin dejar de ser importantes, pasan a un segundo plano, pues la funcionalidad se considera un factor que en todas las alternativas ha de cumplirse y por el lado medioambiental ninguna de las alternativas realiza una elevada intrusión en el medio como para ser un factor determinante.

- Económico: 25%
- Constructivo: 25%
- Estético: 17,5%
- Ambiental: 17,5%
- Funcionalidad: 15%

4.2.2 Puntuación

En este apartado se puntuará cada alternativa en función de los criterios previamente descritos, y se realizará la ponderación para cada una de ellas, de esta forma podemos elegir la solución más adecuada.

4.2.2.1 Puntuación Alternativa 1

La Alternativa 1 o “Luces Máximas” tiene como premisa evitar la invasión del DPH, a costa de aumentar la luz máxima que existirá entre el estribo occidental y la pila central, esto supone un sobrecosto en el diseño de la celosía. Cabe destacar que sólo hay una pila central, lo cual abarata el costo final. Es por ello por lo que se puntúa con un **7** en el apartado económico.

En el apartado constructivo, la dificultad radica en la colocación de las celosías sobre las pilas, debemos tener en cuenta la diferencia de luces, lo cual dificulta la uniformidad del proceso constructivo y de colocación. Se decide puntuar esta parte con un **6**.

La estética del puente viene favorecida por la ausencia de excesivas pilas, lo cual da una visión limpia y clara del entorno, aunque la asimetría podría romper la línea de diseño, por ello se puntúa con un **7,5**.

Como se ha comentado la base de este diseño se busca la menos afección al medio que rodea el río Riquer, por lo tanto, esta es la opción más respetuosa con el medio, por lo que se decide puntuarla con un **8**.

La funcionalidad en todas las opciones está garantizada, por un paso inferior que permite un acceso sencillo a las instalaciones y a su vez garantiza accesibilidad y confort para los usuarios de la vía, es por ello por lo que se puntúa a todos con **8**.

Nota final alternativa 1: $0,25*7 + 0,25*6 + 0,175*7,5 + 0,175*8 + 0,15*8 = 7,1625$

4.2.2.2 Puntuación Alternativa 2

La Alternativa 2 o “Luces Mínimas” tiene como premisa buscar la menor distancia posible entre pilas a costa de interferir en la zona de flujo preferente, esto supone un sobrecosto en el número de pilas que se ve aumentado a 3, lo cual aumenta el sobrecosto de las pilas, pero reduce drásticamente los momentos en la celosía y a su vez el costo de esta. Es por ello por lo que se puntúa con un **6,5** en el apartado económico.

En el apartado constructivo, la dificultad radica en la construcción de las 3 pilas con las que consta esta alternativa, además debemos tener en cuenta la diferencia de luces en los estribos, lo cual dificulta la uniformidad del proceso constructivo y de colocación. Se decide puntuar esta parte con un **7**.

La estética del puente se ve entorpecida por un número excesivo de pilas, lo cual puede generar un efecto pantalla visual que genere un alto impacto visual en el entorno, por ello se puntúa con un **6**.

Como se ha comentado la base de este diseño busca el menor momento en la celosía, a costa de incluir un mayor número de pilas que afectan al medio en mayor medida, por lo tanto, esta es la opción menos respetuosa con el medio, por lo que se decide puntuarla con un **6**.

La funcionalidad en todas las opciones está garantizada, por un paso inferior que permite un acceso sencillo a las instalaciones y a su vez garantiza accesibilidad y confort para los usuarios de la vía, es por ello por lo que se puntúa a todos con **8**.

Nota final alternativa 2: $0,25*6,5 + 0,25*7 + 0,175*6 + 0,175*6 + 0,15*8 = 6,675$

4.2.2.3 Puntuación Alternativa 3

La Alternativa 3 o “Luces Medias” tiene como premisa buscar una relación entre la distancia entre pilas y el número de estas. De esta manera se busca un balance entre el apartado económico y la afección al medio. Hay que destacar que la simetría en el diseño ayuda en la fase constructiva, lo cual puede suponer un mayor ahorro de equipos y medios. Es por ello por lo que se puntúa con un **7,5** en el apartado económico.

En el apartado constructivo se caracteriza la simetría en las luces de ambos vanos, lo cual facilita su diseño y construcción, se debe tener en cuenta la pila central y el acceso hasta la construcción de este. Se decide puntuar esta parte con un **7,5**.

La estética del puente viene favorecida por la ausencia de excesivas pilas, lo cual da una visión limpia y clara del entorno, además la simetría ayuda a tener una línea estilizada del propio puente, por ello se puntúa con un **8**.

Como se ha comentado la base de este diseño busca un balance entre el presupuesto y la afección al medio que le rodea, teniendo una pila en la zona de flujo preferente, por lo tanto, esta opción afecta levemente al medio algo más que la alternativa 1, por lo que se decide puntuarla con un **7**.

La funcionalidad en todas las opciones está garantizada, por un paso inferior que permite un acceso sencillo a las instalaciones y a su vez garantiza accesibilidad y confort para los usuarios de la vía, es por ello por lo que se puntúa a todos con **8**.

Nota final alternativa 3: $0,25*7,5 + 0,25*7,5 + 0,175*8 + 0,175*7 + 0,15*8 = 7,575$

4.2.3 Solución adoptada

Tras el sistema de valoración se observa que la “alternativa 3” tiene la mayor nota con un **7,575**, siendo esta la mayor de las alternativas propuestas, seguido muy de cerca por la “alternativa 1” con un 7,1625.

Esta solución ha destacado por buscar un balance entre la inferencia al medio y la distancia de las pilas, lo cual repercute directamente en los factores económicos y medio ambientales. Además, cabe destacar que la simetría permite simplificar cálculos y tipologías constructivas, permitiendo realizar dos celosías idénticas en la zona designada como taller a pie de obra.

Respecto al apartado estético ha destacado frente a las otras alternativas por una implementación limpia y simétrica en el entorno.

5 Bases de Cálculo

5.1 Cálculo de la estructura

El cálculo de la estructura deberá contemplar las etapas y situaciones transitorias relevantes para las sollicitaciones que transcurran tanto durante el proceso constructivo propuesto como a lo largo de su vida útil.

De acuerdo con la normativa vigente se debe realizar la comprobación del cumplimiento de los Estados Límites Últimos (ELU), que incluyen la estabilidad y la resistencia, y el cumplimiento de los Estados Límites de Servicio (ELS), los cuales comprenden las deformaciones y vibraciones de la estructura.

En el anejo correspondiente de cálculo se incluirá:

- Descripción de la estructura.
- Normativa de aplicación.
- Definición de las hipótesis de cálculo.
- Explicación de los modelos de cálculo empleados.
- Establecimiento de los coeficientes de ponderación para el cálculo y comprobación de ELU y ELS.
- Combinación de acciones de cálculo y factores de simultaneidad para ELU y ELS.

5.2 Acciones

Las acciones a las que la estructura se verá sometidas son las siguientes:

- Acciones Permanentes.
- Sobrecargas de uso.
- Acciones Térmicas.
- Acciones de Viento.
- Acciones sísmicas.

En cada uno de los subpartados se mostrarán los valores obtenidos y los razonamientos más notables. En el anejo de Cálculo se detalla todo el proceso para la obtención de dichos valores, así como la metodología empleada. Dicho anejo sigue la misma estructura de acciones que la anteriormente descrita.

5.2.1 Acciones permanentes

Las acciones permanentes son aquellas asociadas a las cargas propias de la edificación, como el peso propio de la estructura, instalaciones, pavimentos, calzada y demás. Por lo tanto, se reduce a una tabla en la que se incluyen todas las acciones de nuestro caso.

5.2.2 Sobrecargas de uso

Las sobrecargas de uso es el peso de todo aquello que pudiera gravitar sobre la estructura por su razón de uso.

En este caso se recurre al IAP-11 para la obtención de los valores de sobrecarga de uso, además se tiene en cuenta el caso de paso accidental de un vehículo según el CTE DB-SI, para el cual consideraremos la actuación de los bomberos, por lo tanto, en el IAP-11 consideraremos el vehículo pesado tipo 1 (20 Tn), el cual se adapta a un vehículo de servicios de emergencia del cuerpo de Bomberos.

5.2.3 Acciones de Viento

La carga del viento se tratará como una carga estática equivalente siguiendo las indicaciones del IAP-11. Para la obtención de esta carga se han seguido las indicaciones del apartado 4.2.1 a 4.2.8 de la norma citada.

Los valores obtenidos para las diferentes acciones debidas al viento han sido:

- Empuje Transversal: $Q_{v,y} = 1,78 \text{ kN/m}^2$.
- Empuje Vertical: $Q_{v,z} = \pm 0,608 \text{ kN/m}^2$.
- Empuje Longitudinal: $Q_{v,x} = 0,77 \text{ kN/m}$

5.3 Estados Limites Últimos

De acuerdo con la normativa aplicable, en las situaciones de cálculo se debe tener en cuenta la probabilidad de que cada una de ellas actúe con su valor más desfavorable, para ello se definen las combinaciones de acciones, los coeficientes parciales de seguridad y los coeficientes de simultaneidad para las siguientes combinaciones:

- Situaciones de cálculo con cargas persistentes y transitorias:

$$\sum \gamma_G \times G + \gamma_Q \times Q_{1+} + \sum \gamma_Q \times \psi_0 \times Q$$

- En situaciones de cálculo accidentales:

$$\sum \gamma_G \times G + \gamma_A \times A + \gamma_Q \times \psi_1 \times Q_{1+} + \sum \gamma_Q \times \psi_2 \times Q$$

Para las pasarelas se pueden resumir los coeficientes ψ de simultaneidad según la normativa "IAP-11" 2001 en:

Tabla 6 Coeficientes de Combinación

Acción	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Sobrecarga de Uso	0,4	0,4	0,0
Viento	0,3	0,2	0,0
Acción Térmica	0,6	0,6	0,5
Nieve	0,8	0,0	0,0
Acción del Agua	1,0	1,0	1,0
Sobrecarga Construcción	1,0	0,0	0,0

Se realizan todas las combinaciones de acciones posibles para las cargas dispuestas y se genera una envolvente ELU que nos servirá para verificar y comprobar la resistencia de nuestra estructura.

5.4 Estados Limites de Servicio

Independientemente del material constitutivo de la pasarela se debe fijar una serie de limitaciones de servicio a cumplir, las cuales son:

- Limitaciones a las deformaciones (Flechas)
- Limitaciones a las frecuencias propias de vibración para evitar vibraciones inadmisibles que pueden afectar a su desempeño.

La flecha correspondiente a la parte de la sobrecarga de combinación frecuente será igual o menor a $L/1200$ en pasarelas peatonales y puentes urbanos con aceras accesibles. Teniendo en cuenta la luz de nuestro vano (64,80 metros) nuestra flecha máxima será de 0,054 metros.

Las frecuencias debidas a la acción de los peatones oscilan entre 2 y 3,5 Hz, por lo tanto, nuestro objetivo será evitar que estas frecuencias coincidan con la frecuencia natural de la estructura.

6 Dimensionamiento

Tras conocer todas las condiciones de contorno en las necesidades que se han de solventar se decide realizar un primer cálculo que nos permita conocer las solicitaciones, así como el área de acero necesaria para la zona de tracción y compresión.

Por lo tanto, conociendo la disposición de la estructura y con un canto y un peso estimado realizamos una primera iteración con el programa de cálculo EXCEL. Para esta primera aproximación contamos con una luz de 65 metros, emplearemos un cando de 2,5 metros, así como una disposición de las diagonales (a) cada 2,05 metros.

La sobrecarga que se empleará se realiza sin el peso propio pues aún desconocemos la verdadera magnitud de la estructura, suponemos pues un total de cargas de 40 kN/m^2 , recordando que al disponer de dos cordones inferiores el área tributaria se dividirá entre 2.

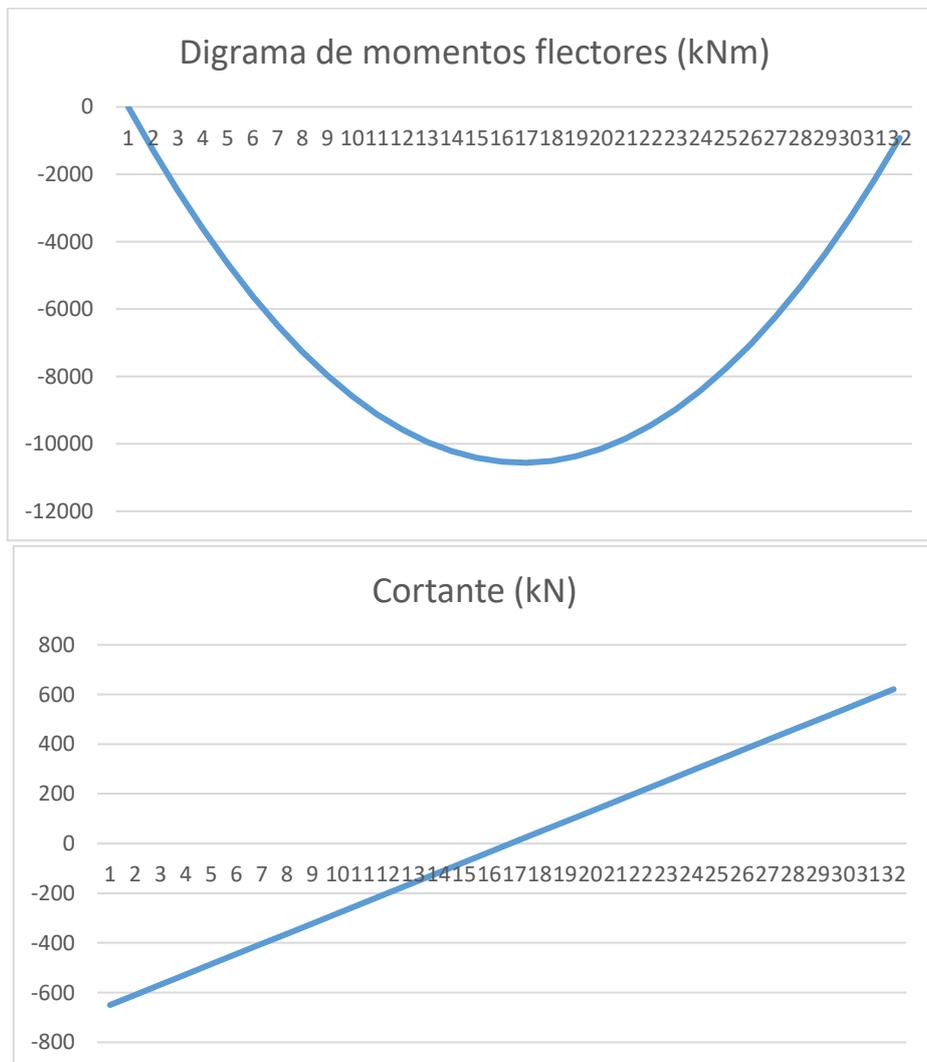


Figura 6-1 Diagrama Momentos y Cortantes

Tabla 7 Esfuerzos de cálculo (Tracción)

ESFUERZOS DE CÁLCULO	
TRACCIÓN MÁXIMA	6337,5

El momento ha de ser resistido por una tracción y una compresión, por lo tanto, obtenemos los valores de tracción y compresión máxima, con estos valores podemos definir el área de acero necesaria para la resistencia a tracción.

Emplearemos un acero S275 JR con límite elástico f_y (N/mm²) de 275, por lo que será necesario para cada cordón inferior un área de 241,98 cm², se decide realizar una primera aproximación al modelo empleando como cordón inferior 2xHEB 360 soldadas para cada celosía.

Para las diagonales de la celosía independientemente de la orientación y la posición se emplearán perfiles tipo UPN 180 e iremos optimizando tanto el tipo de perfiles como su sección mediante procesos iterativos.

La losa colaborante estará conformada de una capa de hormigón HA-30 de 25 cm de canto. Sobre esta irá la calzada, así como elementos de la superestructura que no están incluidos en el modelo creado en SAP.

Debido al paso de servicios se ha tenido en cuenta el paso de personal técnico por el interior de las celosías mediante rejillas TRAMEX, este paso de personal se considera en las acciones de sobrecarga de uso pues queda limitado a una o dos personas más herramientas.

Tabla 8 Materiales empleados

Tabla Materiales							
Material	Tipo	Peso específico	Módulo de Elasticidad (E)	Poisson (U)	Coefficiente Térmico de Expansión (A)	Módulo de Cortante (G)	Fuerza específica de Compresión
Hormigón	HA-30	25 kN/m ³	33577729	0,2	5,50E-06	1,40E+07	30000
Acero	S275	76,98 kN/m ³	2,00E+08	0,3	1,17E-05	7,69+E07	-

6.1 Primera Iteración

Se realiza el esquema estructural con los perfiles deducidos, con esta iteración podremos conocer el peso de la estructura y realizar modelos más ajustados en búsqueda de la optimización de los perfiles.

Aplicado el nuevo modelo en SAP2000 con todas las cargas y combinaciones previamente citados se obtiene un análisis completo según los EUROCODIGOS 2 (2005) y EUROCODIGO 3 (2005) del comportamiento de los elementos y el peso total de los mismos.

Con el fin de poder observar con mayor detalle los elementos y debido a la simetría de la pasarela se realiza un corte a media luz que nos permite analizar mejor los resultados obtenidos. Los resultados obtenidos son los siguientes:

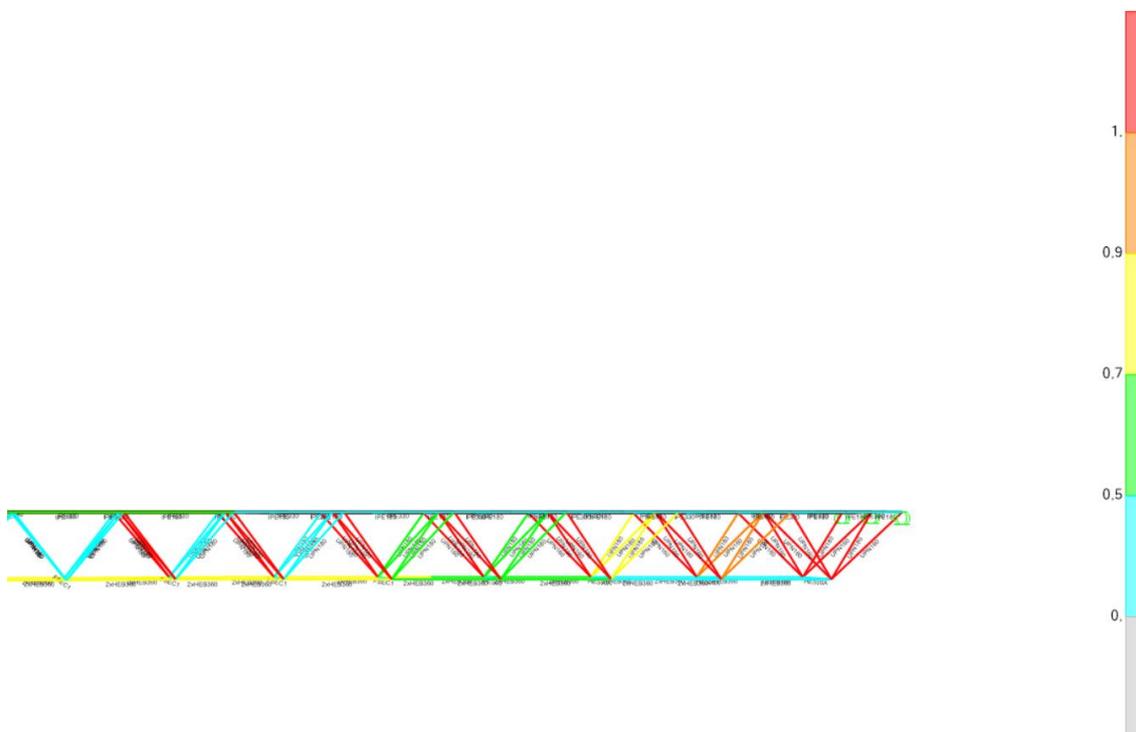


Figura 6-2 1ª Iteración SAP2000

Conociendo ahora el peso propio de la estructura se plantea un nuevo cálculo para las diagonales, se ha seguido el criterio de aplicar perfiles IPE y UPN en las zonas traccionadas y HEA en las zonas comprimidas, estas diagonales se ajustarán a la ley de los cortante donde en los extremos son necesarias unas secciones mayores.

6.2 Segunda Iteración SAP2000

Para esta iteración lo primero que se realiza es el dimensionamiento de los perfiles diagonales con los datos obtenidos de la primera iteración, en la cual se ha obtenidos que la carga total de los elementos es de 2131,33 kN.

Primero se analiza la sección central siguiendo el análisis por nudos, los datos de tracción y compresión de los cordones superior e inferior serán extraídos del modelo de la primera iteración.

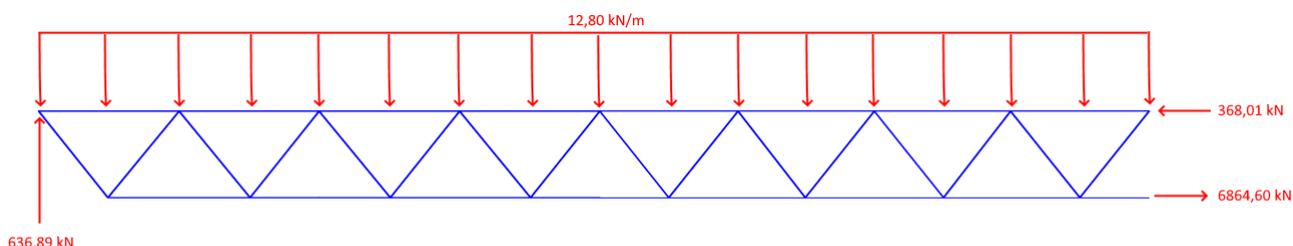


Figura 6-3 Boceto de Cálculo

Mediante el método de nudos se obtienen los esfuerzos internos de las diagonales traccionadas y comprimidas en la pasarela. Se estudian dos casos determinantes, el primero en la zona de centro luz que es el más favorable y nos determinará los perfiles mínimos para cada caso (Traccionado y Comprimido).

En el segundo caso se calculan los esfuerzos en las zonas próximas a los apoyos, donde se determinará el perfil máximo, para cada situación, de la estructura, con este rango de perfiles se rehará el modelo en SAP2000 para realizar las comprobaciones necesarias y si fuere necesario ajustar más el modelo.

Intentaremos que los perfiles que aplicamos no excedan el 70% de su capacidad, por lo que elegiremos perfiles sobredimensionando el área para que la calculada no exceda ese porcentaje.

Por lo tanto, la disposición final para la segunda iteración es la siguiente, se recuerda que solo se muestra media luz para un mejor análisis de la disposición puesto que al ser simétrica podemos realizar dicho corte.

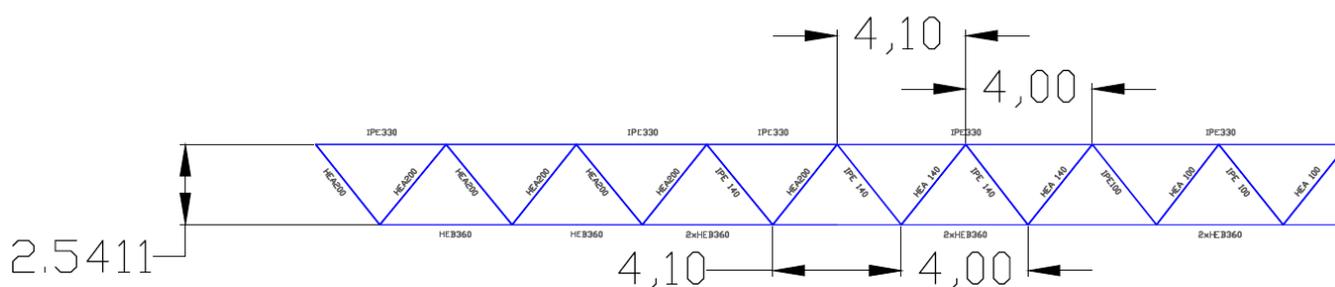


Figura 6-4 Modelo Implementado 2ª Iteración

Se comprueba ahora en el modelo la estructura planteada, con la obtendremos los nuevos pesos totales de la estructura y la iteración de las barras.

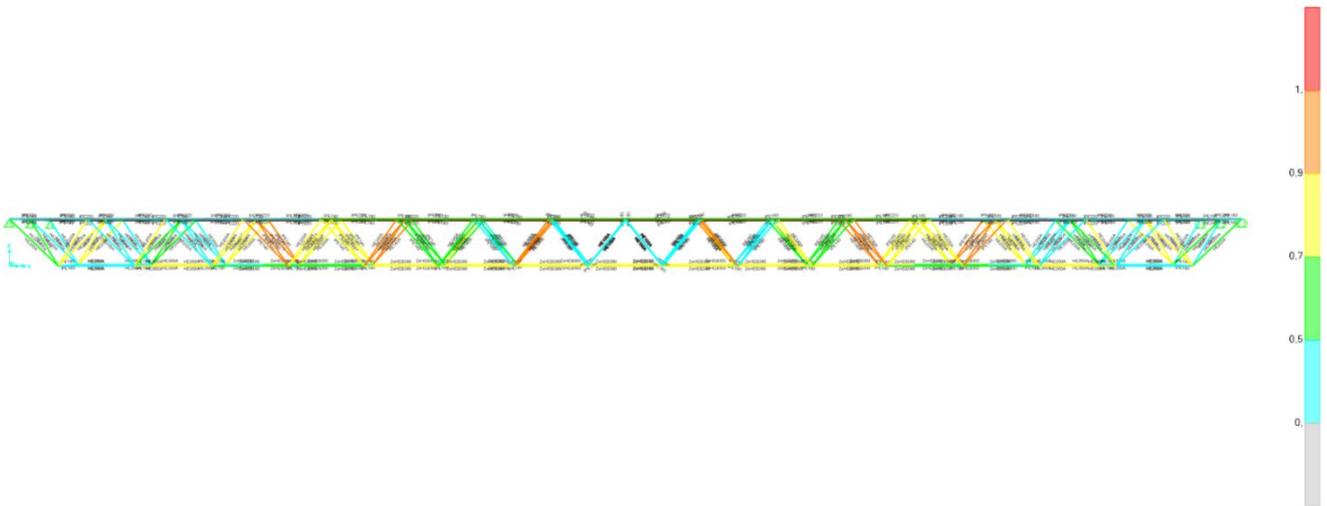


Figura 6-5 2ª Iteración SAP2000

Se observa que ahora todas las barras cumplen, aunque las zonas más alejadas de nuestra zona de estudio no han quedado bien ajustadas a las solicitaciones, por lo que será necesario una última iteración con el objetivo de reducir pesos en las barras y ajustar los perfiles

6.3 Tercera Iteración en SAP2000

Con el fin de conseguir una cierta homogeneidad y estandarización en el diseño con el fin de conseguir un mejor acabado visual se limitan los perfiles diagonales de la celosía a:

- IPE 100, 140, 200
- HEA 100, 140, 200

Estos perfiles están dentro del rango de Áreas necesarias que previamente hemos calculado, esto permitirá una mayor facilidad a la hora de realizar las uniones puesto que se intentará hacer coincidentes las mismas métricas. Se ajustarán también los elementos transversales.

Se garantiza que la colocación de perfiles UPN80 para todas las secciones transversales es favorable y cumplirá las solicitaciones además de reducir el peso de la estructura. Debido a que la transversal más solicitada resiste un cortante de **$V_{max} = 34,12 \text{ kN}$** y un momento de **$17,06 \text{ kNm}$** .

$$M_{c,Rd} \equiv M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{Mo}}$$

$$17,06 = \frac{W_{pl} * 275000}{1,05}; W_{pl} = 6,52 * 10^{-5}$$

$$W_{pl} = 6,52 * 10^{-5} = 2 * S_y; S_y = 3,26 * 10^{-5} m^3$$

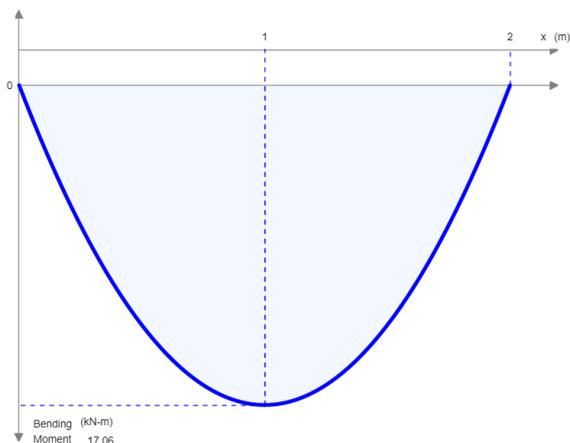
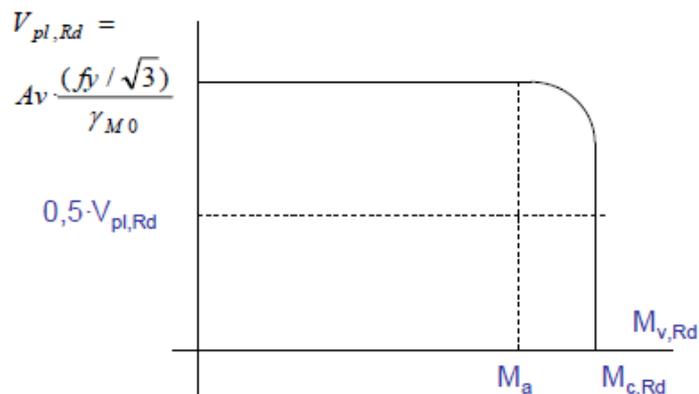


Figura 6-6 Ley de momentos Flectores UPN

Se comprueba que podemos aplicar el mismo tipo de perfiles UPN 80 que habíamos planteado en la zona inferior para el paso de los operarios, el S_y del perfil UPN80 = 15,9 cm³.

Conociendo $V_{pl,Rd}$ (75,50 kN) comprobamos que cumple holgadamente la sollicitación debida al cortante por más del doble, lo que nos garantiza que no se reduce el momento ultimo debido a la iteración de ambos esfuerzos.



La disposición final para la tercera iteración es la siguiente:

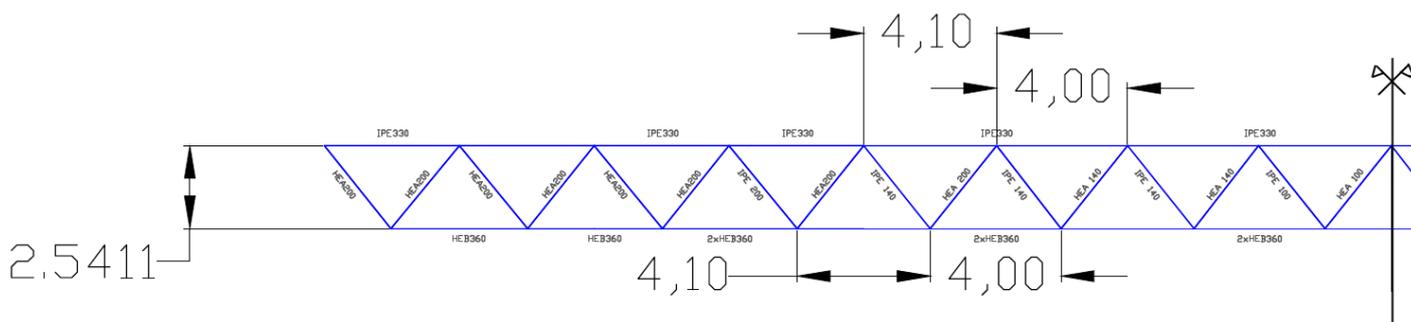


Figura 6-7 Esquema disposición 3ª Iteración

Se establece el criterio previamente mencionado de homogenización de perfiles y los transversales son todos cambiados a UPN 80. La losa se disminuye a 20 centímetros de espesor. Se realiza el modelo en el SAP2000 y con las cargas obtenidas y sus combinaciones se realiza un estudio del modelo.

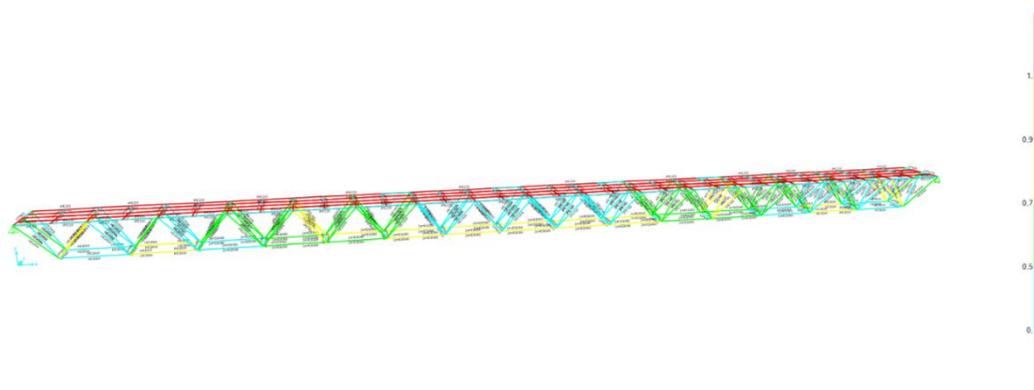


Figura 6-8 3ª Iteración SAP2000

Se debe tener en cuenta que el Shell de la losa de hormigón en SAP2000 queda representado por líneas de color rojo y no corresponden con el diagrama de comprobación.

Todas estas comprobaciones se han realizado mediante la envolvente ELU y en los casos más desfavorables, en el uso normal del puente (ELS) se observa que la mayoría de las secciones trabaja en un rango de menos del 50% de su capacidad, y muy pocas secciones ven aumentadas estas sollicitaciones entre el 50-70%.

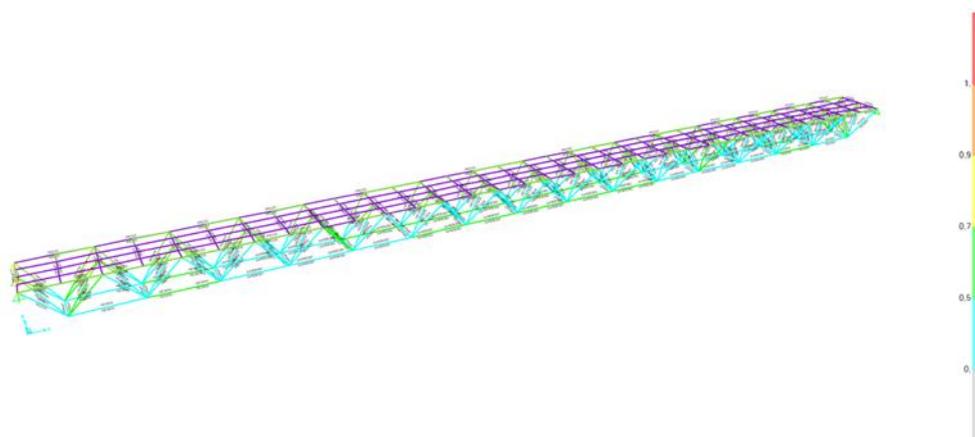


Figura 6-9 3ª Iteración en ELS

7 Aplicación de los tendones pretensados

7.1 Objetivo

El objetivo de nuestros tendones pretensados serán soportar las sobrecargas de uso en ELU, de esta forma, en caso de fallo, la estructura será capaz de soportar el peso propio y cargas asociadas y se podrá realizar una reparación cortando el paso si fuera necesario.

7.2 Disposición

Se dispondrá de dos tendones pretensados. La problemática específica de estos tendones radica en que se debe de disponer un sistema que minimice las pérdidas de fuerzas a lo largo del trazado, también se debe ser posible la sustitución cordón a cordón del trazado y garantizar una protección contra la corrosión propia de los cables exteriores expuestos a la intemperie. Para lo cual se plantea el método patentado de *Freysinnet con lechada de cemento como separador*.

En el momento de tesar el acero desliza por su propio conducto, que resulta un medio bajo de rozamiento, en torno a un 4%, ya que el cordón está rodeado de por un cilindro plástico engrasado, con lo que se cumple otro condicionante exigido a estos tendones.

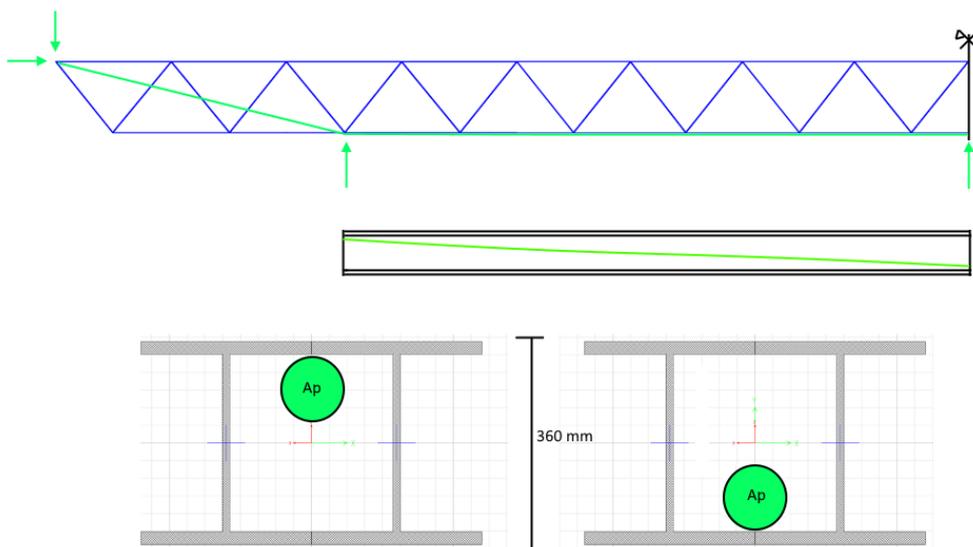


Figura 7-1 Disposición Armadura Activa

7.3 Dimensionamiento

Se realiza el dimensionamiento mediante el cálculo de los límites elásticos para los dos cordones, como ambos son simétricos y están sometidos a los mismos esfuerzos solo es necesario el cálculo de uno.

Se calcula con el acero Y 1770 C. $f_y = 0,90 * f_{max}$ siguiendo la norma de la EHE-08 34.3. Por lo tanto, el límite elástico será 1 593 MPa. Conocida también la fuerza de tesado calculado en el anejo de Pretensado (2 239,85 kN) se calcula el área:

El área mínima del acero será de:

$$A_{p,mínima} = \frac{2239,85 \text{ kN}}{1593 \text{ MPa}} = 1\,406 \text{ mm}^2$$

Conociendo el área del diámetro Ø6 (28,27 mm²) se obtiene que el número de cordones necesarios es de 50 (49,73), para cada tendón.

Se aplica esta nueva iteración al diagrama de momentos obtenidos por la sobrecarga de uso, se aprecia una importante disminución en la sollicitación de la estructura, esto permite una reducción en los perfiles inferiores:

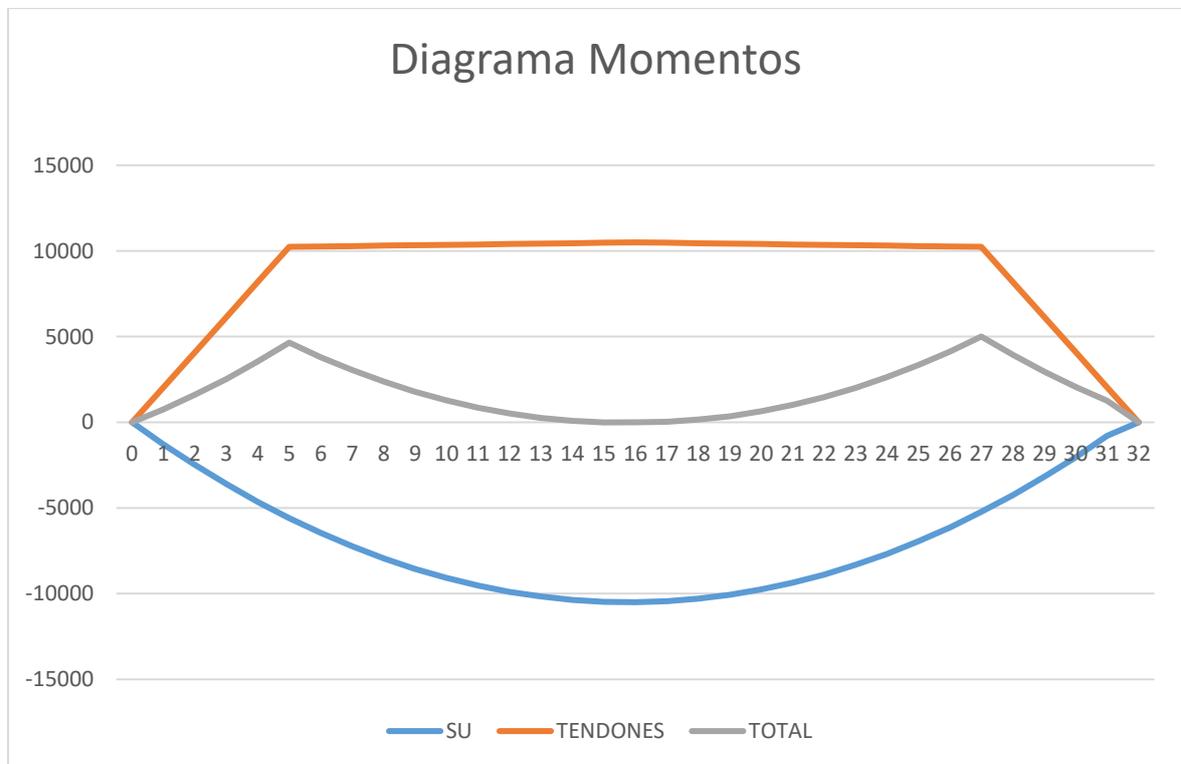


Figura 7-2 Diagrama momentos flectores SU + Tendones Pretensados

7.4 Dimensionamiento final con pretensado

Se aplican los dos tendones con sus cargas correspondientes al modelo de SAP2000 previamente diseñado y se comprueba para la envolvente de Estados Límites Últimos:

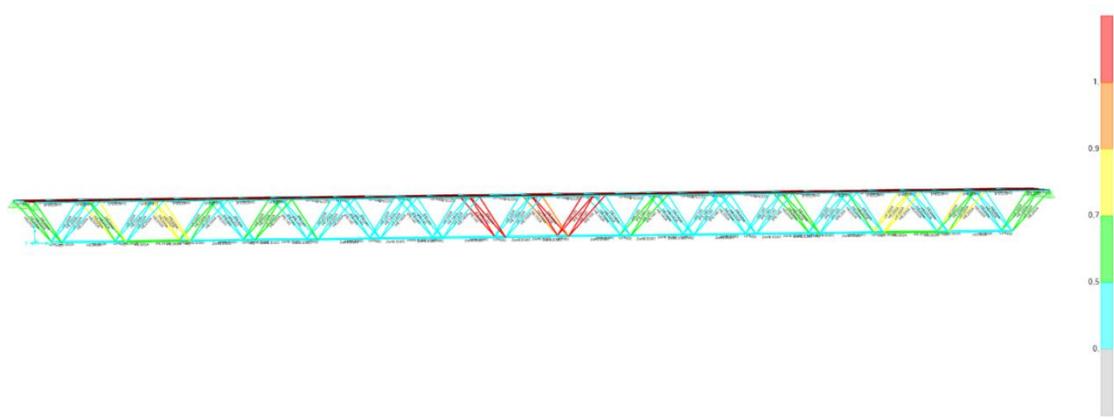


Figura 7-3 Comprobación SAP2000 Pretensado

Se observa que el cordón inferior está menos solicitado y por tanto se puede realizar un ajuste del perfil buscando una mayor optimización económica. Por el contrario, la zona central deberá ser ligeramente sobredimensionada debido a la acción de los cordones.

Por lo tanto, se replantea la estructura con estos nuevos ajustes en los perfiles dando como resultado la siguiente estructura triangulada, solo se muestra media debido a la simetría de la misma. Hay que destacar el ahorro que supone el cambio de los perfiles HEB 360 y 2x HEB 360 por unos perfiles más ligeros como son los HEA 360.

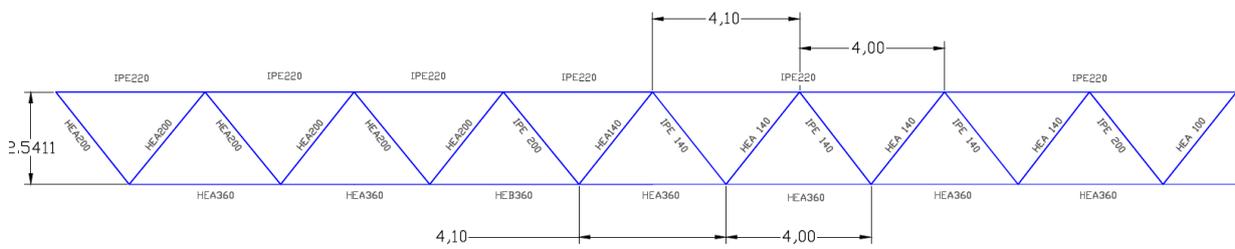


Figura 7-5 Esquema 4ª Iteración

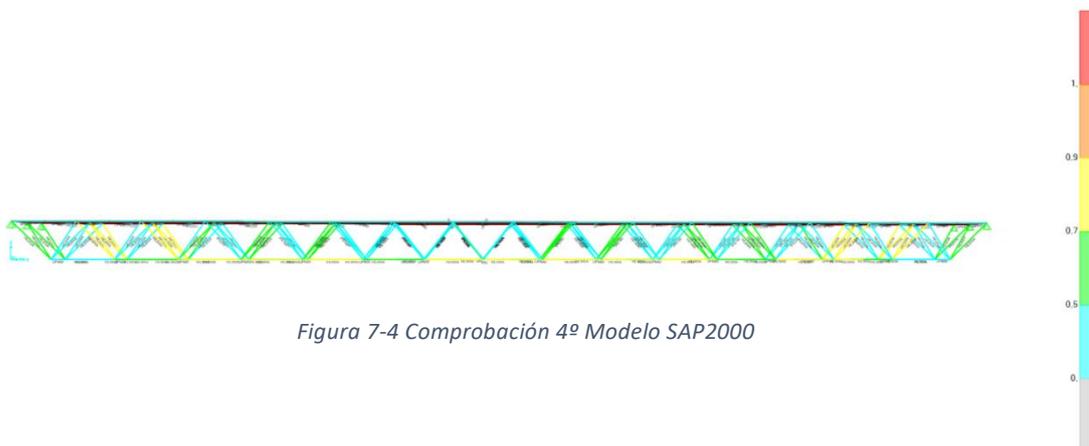


Figura 7-4 Comprobación 4ª Modelo SAP2000

8 Conclusión

El ahorro por lo tanto en material viene dado por la diferencia de ambos costes, pues la losa de hormigón permanece invariable en ambos modelos.

Ahorro en materiales = $(41\,438,8 \text{ €} + 35\,056,8 \text{ €}) - 51\,580,8 \text{ €} = 24\,914,8 \text{ €}$ por pasarela. Teniendo en cuenta que disponemos de dos pasarelas para el paso sobre el río el ahorro total es de **49 829,6 €**. En este ahorro se debería descontar el coste de la aplicación del pretensado, así como la contratación de personal cualificado para su correcta aplicación.

Por otro lado, una de las acciones del pretensado es la creación de una contra flecha que ayuda a mitigar la aparición de flecha en nuestra estructura debido a las acciones de peso propio y sobrecarga de uso.

Del modelo SAP2000 planteado con pretensado obtenemos que la flecha producida por el peso propio es de 0,1743 metros y la producida por las sobrecargas de uso es de 0,1417 metros, lo cual supera el límite del ELS, pero a esto hemos de añadir una contra flecha debida a la acción del pretensado de 0,32 metros.

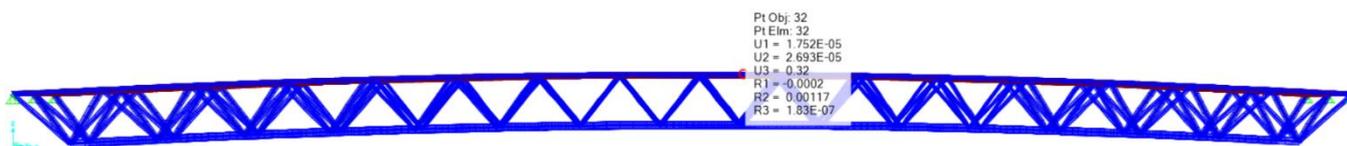


Figura 8-1 Contra flecha debida a la acción del pretensado

Además, queda por añadir el factor de la seguridad y reparación, ya que la estructura está planteada de forma que sin la acción del pretensado pueda soportar las acciones producidas por el peso propio, de esta forma, en caso de fallo de los tendones o necesidad de reparación, la estructura es capaz de sostenerse por sí misma con el paso cortado mientras se realizan las acciones que se necesitasen.

En la siguiente figura podemos ver cuál es el comportamiento de la estructura sin las acciones de pretensado ni las acciones debidas a la sobrecarga de uso:

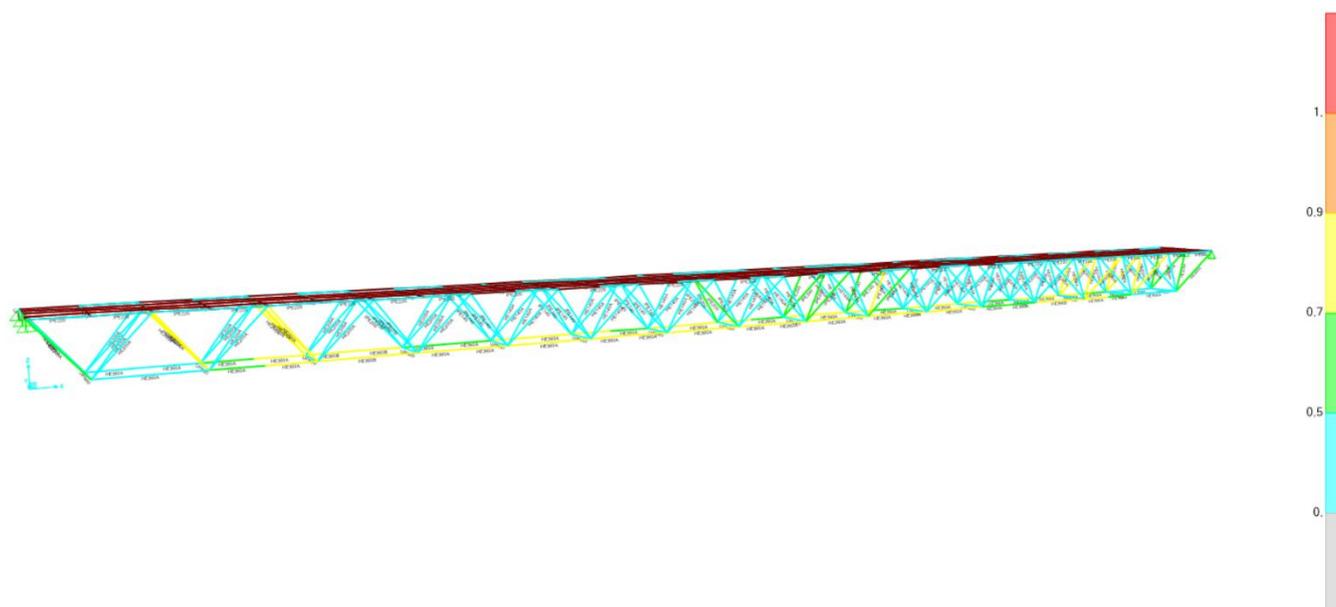


Figura 8-2 Comprobación SAP2000 sin SU ni Pretensado

Esto es un gran factor a la seguridad y a la puesta en obra, pues permite construir toda la estructura, incluidas las losas de hormigón, colocar las pasarelas y tras ello realizar la operación de tesado en la estructura.

Como conclusión se plantea que salvo un costo excesivo de la operación de tesado esta alternativa será claramente más ventajosa que la propuesta anteriormente debida principalmente a tres factores determinantes:

- Seguridad. La estructura tiene mayor grado de respuesta ante un imprevisto que permite realizar labores de mantenimiento o reparaciones de manera sencilla y segura.
- Adaptabilidad. La estructura responde mejor a las necesidades y solicitudes que genera el paso propio de los viandantes como son la flecha y la frecuencia propia.
- Rentabilidad. Salvo un coste mayor de 50 000€ por las operaciones del tesado esta sigue siendo una opción más económica que además es menos compleja de ejecutar debido al menor número de soldaduras necesarias.

X

Daniel Bresó Híaes
Alumno